

H01 L 29/737

Mandat  
H01 L 29/73 H

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑪ **DE 3630282 A1**

⑳ Aktenzeichen: P 36 30 282.1  
㉔ Anmeldetag: 5. 9. 86  
㉕ Offenlegungstag: 17. 3. 88

⑤ Int. Cl. 4:  
**H01 L 29/38**  
H01 L 29/86  
H01 L 29/72-H  
H01 L 29/24  
H01 L 29/205  
H01 L 29/207

DE 3630282 A1

⑦1 Anmelder:

Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH, 6000 Frankfurt,  
DE; Telefunken Electronic GmbH, 7100 Heilbronn, DE

⑦2 Erfinder:

Beneking, Heinz, Prof. Dr.rer.nat., 5100 Aachen, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

EP 1 36 108  
US-Z: J.Appl.Phys., Bd.59, 1986, Nr.11, S.3792-3797;  
JP-Z: Japanese J. of Applied Physics, Bd.23, 1984,  
Nr.5, S.L311-L312;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

Entgegenhaltung zu H/P.001.96 (A)

⑤4 Halbleiteranordnung

Die Erfindung betrifft eine Halbleiteranordnung, deren elektrisches Verhalten durch einen Majoritätsladungsträgerstrom bestimmt wird. Die Erfindung besteht darin, daß in ein Halbleitermaterial bestimmten Bandabstandes eine extrem dünne Trennschicht aus einem anderen Halbleitermaterial mit höherem Bandabstand eingefügt ist.

DE 3630282 A1

## Patentansprüche

1. Halbleiteranordnung, deren elektrisches Verhalten durch einen Majoritätsladungsträgerstrom bestimmt wird, dadurch gekennzeichnet, daß in ein Halbleitermaterial (1, 2, 8, 10, 12) bestimmten Bandabstandes eine extrem dünne Trennschicht (3, 9, 11) aus einem anderen Halbleitermaterial mit höherem Bandabstand eingefügt ist.
2. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Trennschicht (3, 9, 11) ca. 10–20 nm dick ist.
3. Halbleiteranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die durch die Trennschicht (3, 9, 11) verursachte Barrierenhöhe durch die Wahl ihres Materials und durch ihre Dotierung bestimmt ist.
4. Halbleiteranordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Halbleitermaterial auf den beiden Seiten der Trennschicht (3, 9, 11) aus Material unterschiedlichen Bandabstands besteht.
5. Halbleiteranordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Halbleitermaterial niederen Bandabstandes aus Silizium die Trennschicht (3, 9, 11) aus GaP besteht.
6. Halbleiteranordnung nach einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Halbleitermaterial niederen Bandabstandes aus GaAs die Trennschicht (3, 9, 11) aus GaAlAs oder GaInP besteht.
7. Halbleiteranordnung nach einem der Ansprüche 1–4, dadurch gekennzeichnet, daß bei einem Halbleitermaterial niederen Bandabstandes aus InP die Trennschicht (3, 9, 11) aus GaInAs, AlInAs oder GaInAsP besteht.
8. Halbleiteranordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ihre Verwendung als Diode, wobei jeweils an der Schicht (1, 2) aus Halbleitermaterial niederen Bandabstandes Ohmsche Anschlußkontakte (4, 5) angeordnet sind.
9. Halbleiteranordnung nach einem der Ansprüche 1–7, dadurch gekennzeichnet, daß im Abstand voneinander in das Halbleitermaterial (8, 10, 12) niederen Bandabstandes zwei Trennschichten (9, 11) aus Halbleitermaterial höheren Bandabstandes eingefügt sind.
10. Halbleiteranordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand zwischen den Trennschichten (9, 11) ca. 15–60 nm beträgt.
11. Halbleiteranordnung nach einem der Ansprüche 8–10, dadurch gekennzeichnet, daß die Trennschicht (3, 9, 11) aus Material unterschiedlichen Bandabstandes und/oder unterschiedlicher Dotierung zur Erzielung unterschiedlicher Barrierenhöhen besteht.
12. Halbleiteranordnung nach einem der Ansprüche 8–11, dadurch gekennzeichnet, daß die Trennschichten (9, 11) gegenüber dem Halbleitermaterial niederen Bandabstandes kontra-dotiert sind.
13. Halbleiteranordnung nach einem der vorangehenden Patentansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Halbleiterschichten einkristallin und epitaktisch erzeugt sind.
14. Halbleiteranordnung nach einem der Ansprüche 8–13, gekennzeichnet durch die Verwendung

11) angrenzenden Halbleiterschichten (8, 10, 12) mit Ohmschen Anschlußkontakten (14, 15, 16) versehen sind.

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Halbleiteranordnung, deren elektrisches Verhalten durch einen Majoritätsladungsträgerstrom bestimmt wird.

In neuartigen Majoritätsträger-Bauelementen werden energetische Barrieren für Majoritätsträger dadurch erzeugt, daß in einem einkristallinen Halbleitermaterial eine extrem dünne Schicht kontra-dotiert wird. So wird beispielsweise in ein n-leitfähiges Material mit einer Dotierung von  $10^{14}$  Atomen/cm<sup>3</sup> eine nur ca. 10 nm dicke Trennschicht extrem hoher p-Dotierung oberhalb  $10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup> eingebaut. Wegen der geringen Dicke der kontra-dotierten Schicht verbleiben dort nur Akzeptor-Rümpfe, während die beweglichen Löcher vollständig ausgeräumt sind. Eine derartige PDB-Diode wird beispielsweise in der Zeitschrift "Materials Letters, Vol. 1, No. 1, June 82, S. 22–25" beschrieben. Diese bekannte Diode hat im wesentlichen das Verhalten einer Schottky-Diode, jedoch gegenüber dieser den wesentlichen Vorteil, daß sie rauschärmer ist, da die Barriere im Halbleitervolumen und nicht an der Halbleiteroberfläche angeordnet ist.

In der Fig. 1a ist das Dotierungsprofil dieser bekannten PDB-Diode dargestellt, die eine  $n^+-i-p^+-i-n^+$ -Struktur aufweist und deren elektrisches Verhalten durch den Majoritätsladungsträgerstrom bestimmt wird. Eine solche Diode hat dann Raumladungsverhältnisse, wie sie sich aus der Fig. 1b ergeben, sowie ein Energieband-Diagramm gemäß der Fig. 1c. Der unsymmetrische Verlauf der Potentialverteilung ergibt sich daraus, daß die Trennschicht mit den Akzeptor-Rümpfen unterschiedliche Abstände von den mit Donatoren versehenen Zonen aufweist.

Ferner ist aus der Zeitschrift "IEE Proc., Vol. 128, Pt. 1, No. 4, August 81, S. 134–140" eine Transistor-Konfiguration bekannt, bei der heiße Ladungsträger über eine Emissionsbarriere gesteuert in eine dünne Basiszone einfließen, wonach sie über eine daran anschließende zweite Barriere abgesaugt werden. Die Barrierschichten werden auch bei diesem Transistor durch extrem schmale, gegenüber dem Umgebungsmaterial kontra-dotierte Bereiche gebildet, die durch Diffusion oder Ionenimplantation erzeugt werden und die so schmal sind, daß in ihnen nur die Akzeptor-Rümpfe verbleiben. Die beiden Barrierenhöhen werden durch Potentialanlegung gegeneinander verändert, so daß bei genügend geringer Ausdehnung der Basisschicht heiße Elektronen die erste Potentialbarriere durchdringen und über die zweite Potentialbarriere abgesaugt werden.

Die Nachteile dieser bekannten Strukturen liegen darin, daß die Dotierungsübergänge an den Trennschichten sehr abrupt verlaufen müssen und die Trennschicht dabei nur sehr dünn sein darf. Die extrem hohe Dotierung führt zu Gitterverspannungen und zu Ausdiffusionen aus den Trennschichten, so daß während der Lebensdauer der Bauelemente eine Veränderung der elektrischen Kenndaten auftritt.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, eine Halbleiteranordnung anzugeben, die die genannten Nachteile nicht aufweist, einfach herzustellen ist und sehr vorteilhaft als Diode oder Transistor mit einem

be wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß in ein Halbleitermaterial bestimmten Bandabstandes eine extrem dünne Trennschicht aus einem anderen Halbleitermaterial mit höherem Bandabstand eingefügt ist. Die Trennschicht wird so dick gewählt, daß in ihr keine frei beweglichen Ladungsträger mehr vorhanden sind, so daß die Sperrschicht durch thermische Diffusion durchtunnelt wird. Die Barrierenhöhe wird durch die Materialauswahl und durch die Dotierung bestimmt, wobei die Trennschichten schwächer dotiert werden können wie bei bekannten Anordnungen, da sich eine wirksame Barriere allein durch den unterschiedlichen Bandabstand der benachbarten Materialien einstellt. Die Potentialverteilung kann außerdem dadurch variiert werden, daß die an die Trennschicht angrenzenden Halbleitermaterialien mit geringem Bandabstand einen voneinander verschiedenen Bandabstand aufweisen.

Eine Transistorstruktur läßt sich dadurch herstellen, daß zwei Trennschichten aus Material höheren Bandabstandes im Abstand voneinander in ein Halbleitermaterial mit geringerem Bandabstand eingefügt werden. Der Abstand zwischen den beiden Trennschichten muß dabei so gewählt werden, daß der Majoritätsladungsträgerstrom ohne zu hohen Energieverlust die Basiszone durchfließt und über die zweite Trennschicht vom Kollektor aufgenommen wird. Die Halbleiterschichten aus unterschiedlichem Material werden vorzugsweise durch epitaktische Abscheidungsverfahren, insbesondere durch Molekularstrahlepitaxie, erzeugt.

Die Erfindung wird nachstehend noch anhand zweier Ausführungsbeispiele näher erläutert. Hierbei zeigt die Fig. 2a ein Diodenbauelement mit den zugehörigen Energieverläufen in den Fig. 2b, 2c und 2d. Die Fig. 3a zeigt eine Transistorstruktur mit den zugehörigen Energieverläufen in den Fig. 3b und 3c.

In der Fig. 2a ist eine Halbleiteranordnung dargestellt, die aus zwei Halbleiterschichten 1 und 2 besteht, welche durch eine Trennschicht 3 voneinander getrennt sind. Das Halbleitermaterial der Schichten 1 und 2 hat einen kleinen Bandabstand im Verhältnis zu dem Material der Schicht 3. Beispielsweise bestehen die Schichten 1 und 2 aus Silizium und die Schicht 3 aus Gallium-Phosphid. In einem anderen Ausführungsbeispiel bestehen die Schichten 1 und 2 aus Gallium-Arsenid und die Trennschicht 3 aus Gallium-Aluminium-Arsenid oder Gallium-Indium-Phosphid. Die Schichten 1 und 2 können auch aus Indium-Phosphid bestehen, wenn die Trennschicht 3 aus Gallium-Indium-Arsenid, Aluminium-Indium-Arsenid oder Gallium-Indium-Arsenid-Phosphid besteht. Die Trennschicht 3 hat vorzugsweise eine Dicke von ca. 10–20 nm und kann den gleichen Leitungstyp wie die Schichten 1 und 2 oder den entgegengesetzten Leitungstyp aufweisen. Zur Erzeugung einer Diode werden an die Schichten 1 und 2 ohmsche Anschlußelektroden 4 und 5 angebracht.

Die Energieverläufe Abhängigkeit von der Dotierung der Trennschicht, ergeben sich aus den Fig. 2b–2d. Bei dem Energieverlauf nach Fig. 2b ist die Trennschicht 3 schwach n-dotiert und die Schichten 1 und 2 sind gleichfalls n-dotiert. Wie ersichtlich, bildet sich jedoch dann aufgrund des unterschiedlichen Bandabstandes der aneinander angrenzenden Materialien eine genügend hohe Barriere aus, um eine Diodenwirkung zu erzielen. Bei höherer n-Dotierung der Trennschicht und Beibehaltung der n-Dotierung der Schichten 1 und 2 sinkt gemäß Fig. 2c die Barrierenhöhe, so daß hier die Diodenwirkung reduziert wird. Wählt man eine Kontra-Dotierung

Halbleiterschichten 1 und 2, so ergibt sich ein Energieverlauf gemäß Fig. 2d mit einer sehr hohen Barriere. Daraus ist ersichtlich, daß die elektrischen Kennwerte der Diode einmal durch die Auswahl der Materialien und zum anderen durch die Dotierung der Trennschicht im Verhältnis zu den angrenzenden Halbleiterschichten bestimmt werden kann.

Die Fig. 3a zeigt eine Transistorstruktur mit zwei Trennschichten 9 und 11. Bei einem geeigneten Ausführungsbeispiel geht man von einem Siliziumsubstrat 6 aus, auf das eine n<sup>+</sup>-dotierte Silizium-Schicht 7 aufgebracht wird, die für den Anschluß des Kollektors dient. Die Kollektorschicht selbst wird aus der n-dotierten Siliziumschicht 8 gebildet. An diese Kollektorschicht 8 grenzt nun die erste Trennschicht 9 an, die beispielsweise 15 nm dick ist und aus Gallium-Phosphid besteht. Die Dotierung dieser Trennschicht beträgt beispielsweise  $4 \cdot 10^{18}$ – $4 \cdot 10^{19}$  Atome/cm<sup>3</sup>, während der n-dotierte Kollektor 8 eine Dotierung von ca.  $10^{17}$  Atomen/cm<sup>3</sup> aufweist. An die Trennschicht 9 grenzt die Basiszone 10 an, die aus sehr stark dotiertem, n-leitendem Silizium besteht und eine Störzellenkonzentration von beispielsweise  $5 \cdot 10^{20}$  Atomen/cm<sup>3</sup> aufweist. Diese Basisschicht ist nur 20 nm dick, so daß die Ladungsträger auf dem Weg vom Emitter zum Kollektor in der Basisschicht nur einen geringen Energieanteil verlieren. An die Basisschicht 10 grenzt die zweite Trennschicht 11 an, die wiederum p<sup>+</sup>-dotiert ist und aus Gallium-Phosphid besteht. Die Störzellenkonzentration liegt beispielsweise bei  $10^{18}$ – $10^{19}$  Atomen/cm<sup>3</sup> und die Dicke bei 10–15 nm. Auf diese Trennschicht 11 folgt der n-leitende Emitter 12 mit der Emitteranschlußschicht 13, an der Emitterkontakt 14 angebracht ist. Die Emitterschicht 12 weist eine n-Störzellenkonzentration von ca.  $3 \cdot 10^{17}$  Atomen/cm<sup>3</sup> auf und besteht wiederum, wie auch die Emitteranschlußschicht 13, aus Silizium. Die Halbleiteranordnung ist mesaförmig ausgebildet, so daß die dünne Basisschicht 10 an der Oberfläche mit einem Basisanschlußkontakt 16 versehen werden kann. In gleicher Weise verbreitert sich die Halbleiteranordnung zum Substrat hin, so daß auch der Kollektor mit einem Kollektoranschlußkontakt 15 leicht kontaktiert werden kann. Die Kontakte bestehen beispielsweise aus Aluminium.

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel besteht der Kollektor aus Gallium-Arsenid und die erste Trennschicht 9 aus Gallium-Aluminium-Arsenid mit einem Aluminiumanteil von 0,3. Die Basisschicht 10 besteht aus Gallium-Arsenid mit einer sehr hohen Dotierung und einer geringen Dicke, an die die zweite Trennschicht 11 aus Gallium-Aluminium-Arsenid angrenzt. Der Aluminiumanteil dieser zweiten Trennschicht ist vorzugsweise größer als der der Schicht 9, so daß auf der Emittersseite eine höhere Barriere erzielt wird als auf der Kollektorseite. Beispielsweise liegt der Aluminiumanteil der Schicht 11 bei 0,35. Der Emitter 12 besteht wiederum aus n-dotierten Gallium-Arsenid. Die Trennschichten 9 und 11 aus Gallium-Aluminium-Arsenid sind auch bei diesem Ausführungsbeispiel im Verhältnis zum umgebenden Halbleitermaterial aus Gallium-Arsenid kontradotiert. Der Abstand zwischen den Trennschichten sollte möglichst gering gewählt werden und liegt zwischen 15 und ca. 60 nm.

Die Fig. 3a und 3c zeigen die Energieverläufe der Transistorstrukturen mit gleich hohen, durch die Trennschichten verursachten Barrieren (Fig. 3b) und ungleich hohen Barrieren (Fig. 3c), wobei diese Uneinheitlichkeit

schichten und/oder durch unterschiedliche Dotierung hervorgerufen wird. Die in der Fig. 3a dargestellte Transistorstruktur wird vorzugsweise durch Schichtabscheidung mit der Molekularstrahlepitaxie gewonnen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

3630282

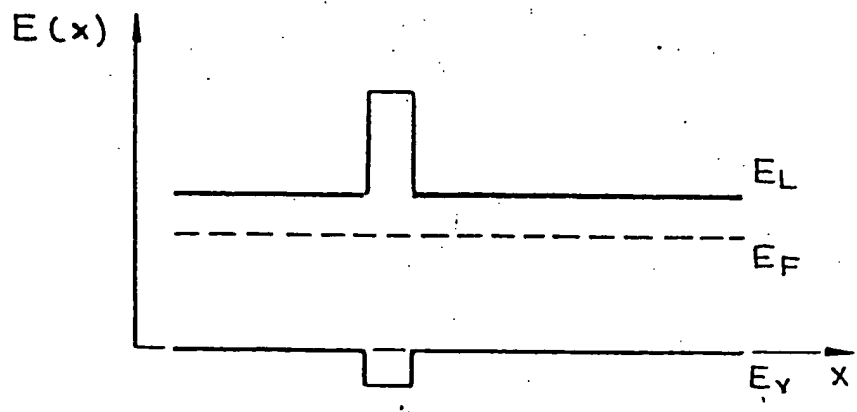


FIG. 2b

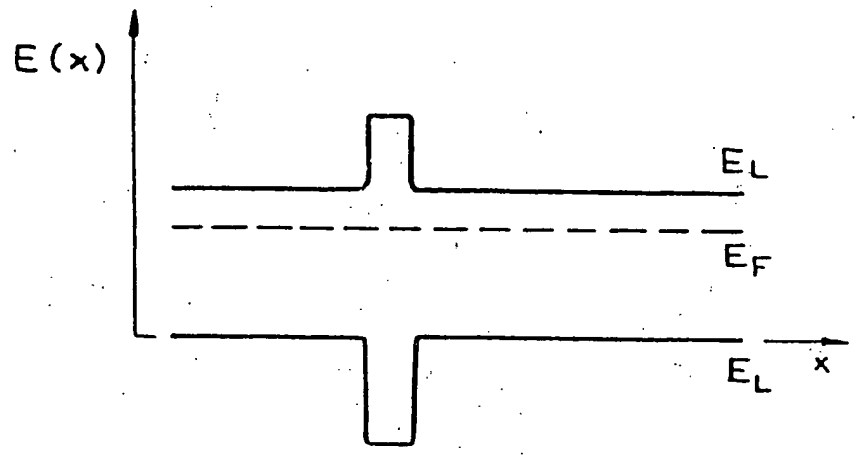


FIG. 2c

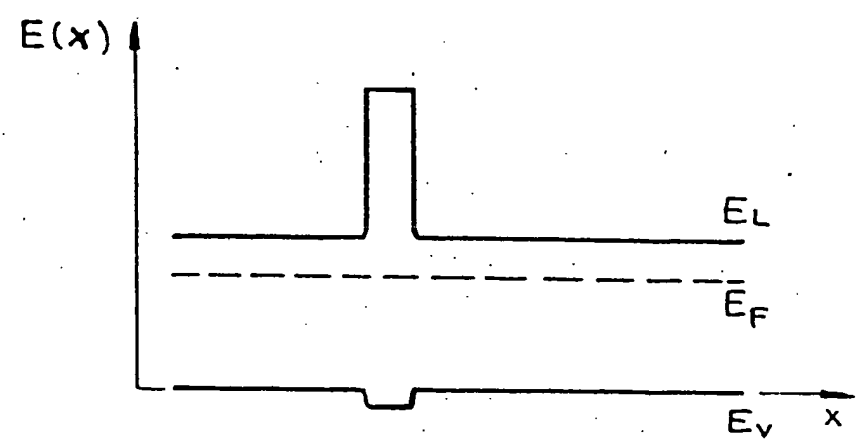


FIG. 2d

3630282

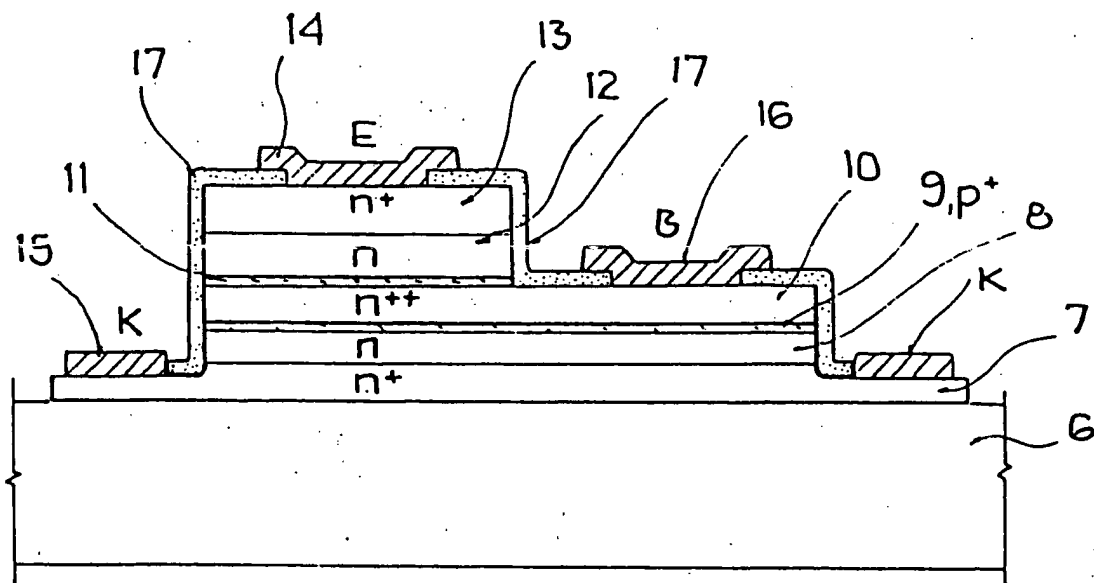


FIG.3a

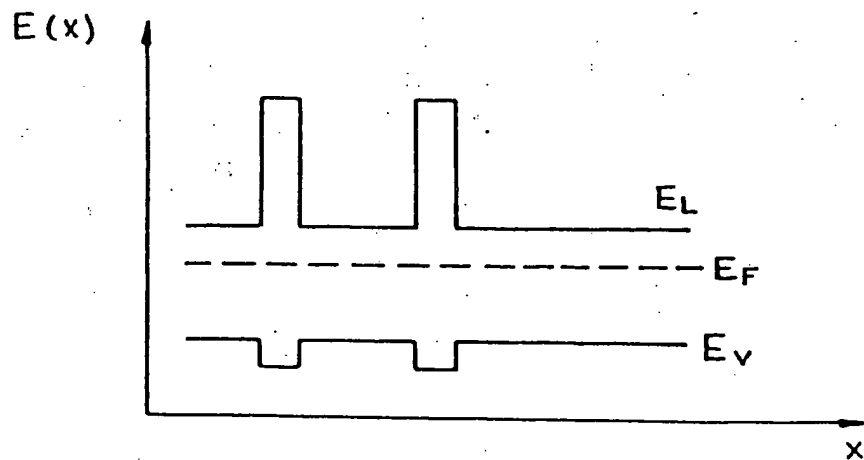


FIG.3b

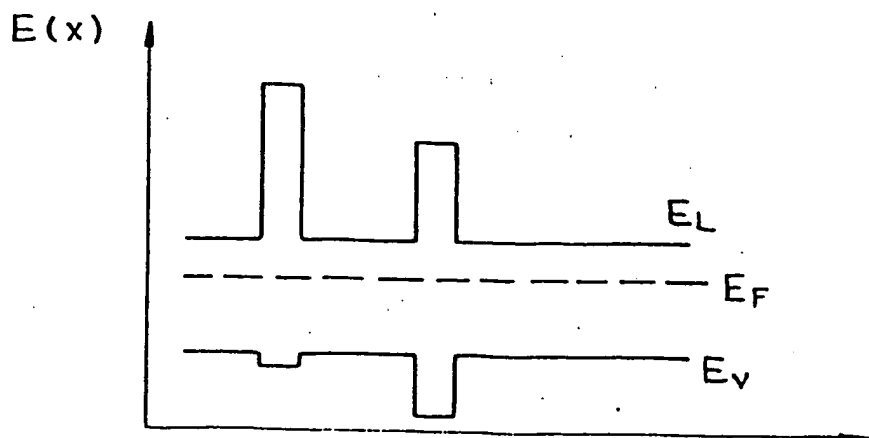


FIG.3c

3630282

